

Андрей Максимов

# Сравнительное исследование теплопроводящих свойств материалов для печатных плат на алюминиевом основании

В связи с постоянной миниатюризацией и увеличивающейся энергонагруженностью электронных и электромеханических устройств в последние годы очень серьезно стоит проблема отвода выделяемого при работе устройств тепла, так как несоблюдение требуемого теплового режима работы любых электронных компонентов ведет к быстрой деградации их характеристик и выходу их из строя значительно раньше заложенного в них потенциально срока службы.

Очень часто единственным путем управления тепловым режимом работы электронного устройства является отвод тепла от компонента через печатную плату, на которой собрано устройство. Для этих целей в конструкцию платы могут добавляться так называемые *thermova*, базовый материал выбирается с максимально возможной толщиной фольги для улучшения первоначального отвода тепла по плоскости печатной платы. В последние годы наиболее популярным методом для отвода тепла является использование плат с металлическим основанием.

Хотя в мире существует огромный спектр отраслей и приложений, где требуется применение технологий для отвода тепла, при сложившихся в наших стране экономических реалиях только одна отрасль требует применения этих технологий в массовом масштабе. Ни для кого не секрет, что этой отраслью является светодиодное освещение. Чтобы понять, что данное направление бизнеса динамично развивается, что там есть спрос и деньги, достаточно посетить какую-либо специализированную выставку, например *Interlight Moscow powered by Light+Building*.

На первый взгляд с производством устройств светодиодного освещения все достаточно просто — серьезного НИОКР как бы и не требуется, схемотехника достаточно простая, закупил светодиоды, блоки питания, заказал корпуса, платы подешевле, субподрядчик сделал монтаж и полностью сборку — все, изделие готово. Основная работа по оптимизации затрат и продвижению, так как конкуренция на этом рынке достаточно высока. Но не все так просто...

Компания «Резонит» работает в этом сегменте рынка достаточно давно, мы были одними из первых, кто освоил выпуск печатных

плат на алюминиевом основании в России. Естественно, накоплен значительный багаж опыта и знаний в этой сфере. Мы не раз сталкивались с ситуациями, когда в результате пренебрежительного отношения к технической стороне вопроса возникали риски, ставящие под угрозу существование бизнеса как такового. Типичная ситуация: выигран тендер на поставку светильников, закуплены комплектующие, устройства собраны, установлены, все довольны, *profit*. Но через некоторое время светильники начинают менять спектр, тускнеть и, в конце концов, гаснуть. А дело в том, что устройства были собраны на печатных платах, о теплопроводящих свойствах материала, из которого они были сделаны, никто серьезно не задумывался. Алюминий — отлично, дешево — замечательно! Клиент, заплативший деньги, естественно, недоволен и требует все исправить. Затраты на замену могут многократно превышать стоимость контракта.

Бурное развитие данного сегмента соответственно обусловило развитие рынка и материалов для производства печатных плат на алюминиевом основании. Если еще лет пять назад китайских производителей этих материалов можно было пересчитать по пальцам одной руки, сейчас их появилось великое множество. Большинство компаний-производителей традиционных материалов (FR4, FR1 и т. п.) предлагают алюминиевые материалы, также на рынке появилось много новых имен. И судя по техническим характеристикам, представленным в рекламных буклетах и на сайтах, теплопроводящие свойства подавляющего большинства из них находятся на достаточно высоком уровне. Надо 2 Вт/мК? — пожалуйста! И не дорого.

При попытке копнуть поглубже, понимаешь, что значения параметров теплопроводности задаются маркетологами, задача же технических специалистов — обосновать заданные значения, подобрав метод испытаний и параметры тестирования.

«Резонит» известен на рынке не как компания, имеющая самое дешевое предложение в разных сегментах, а прежде всего как надежный поставщик с высоким уровнем качеством и сервиса. Поэтому, даже предлагая продукцию в низком ценовом сегменте, мы должны быть уверены, что поставляемая продукция соответствует

заявляемым свойствам. А для этого мы сами должны четко знать, что мы предлагаем и из чего это делаем.

Нами было принято решение смоделировать условия работы типичных устройств и произвести сравнительное тестирование материалов, применяемых в печатных платах на алюминиевом основании, предлагаемых нашей компанией. В качестве типичного устройства была выбрана модель светодиодного светильника. Техническая часть эксперимента обеспечивалась специалистами ООО «Полупроводниковая светотехника-М».

Поскольку основной целью использования металлических печатных плат (МСПСВ) в РЭА является улучшение теплопередачи от электронных теплонагруженных компонентов к системе обеспечения теплового режима (СОТР), в качестве основного критерия целесообразно рассматривать тепловое сопротивление в системе «полупроводниковая структура—обратная сторона печатной платы». При этом цепь тепловых проводимостей будет выглядеть, как показано на рис. 1.

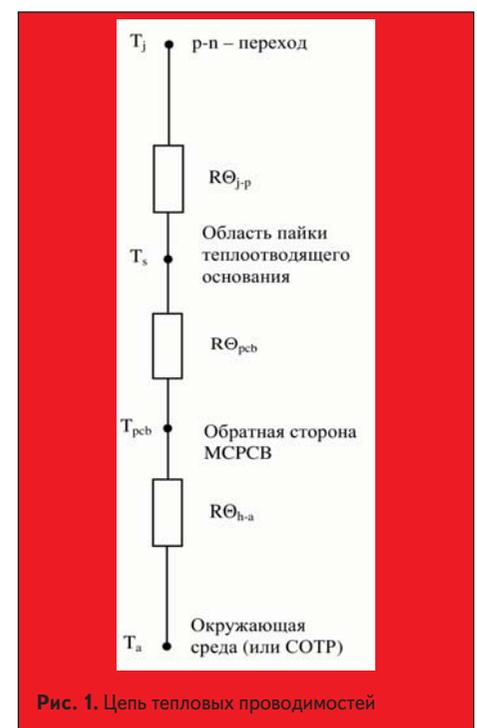


Рис. 1. Цепь тепловых проводимостей

Величина теплового сопротивления  $R\Theta_{p-h}$  в основном определяется теплопроводностью диэлектрического слоя между медной фольгой печатных проводников и металлическим основанием. При идентичности таких величин, как толщина медной фольги, толщина и свойства металлического основания, толщина слоя припоя между теплопроводящим основанием ЭК и площадкой, толщина диэлектрика, теплопроводность диэлектрика будет определяющей теплового сопротивления  $R\Theta_{p-h}$ .

В качестве диэлектрика могут быть использованы:

- препреги FR4 (стеклоткань с эпоксидным связующим);
- препреги на основе стеклоткани и эпоксидной смолы с теплопроводящим наполнителем;
- теплопроводящие композитные материалы;
- полиимид.

### Необходимые условия для обеспечения корректности измерений $\Theta_{pcb}$

Поскольку разная теплопроводность диэлектрика обеспечивает разные временные градиенты температуры в точке  $T_{pcb}$ , для обеспечения корректности сравнения различных материалов МСРСВ необходимо обеспечить равенство температур в этой точке у испытуемых образцов (термостатирование обратной стороны платы). Это

также позволит исключить влияние на точность измерения колебаний температуры окружающей среды в процессе измерений. Для этой цели использован полупроводниковый охладитель с обратной связью по температуре в точке  $T_h$ .

При этом достаточно измерять температуру корпуса светодиода  $T_p$  в контрольной точке, рекомендуемой производителем, величина которой и будет являться абсолютным критерием качества образца. Точку  $T_{pcb}$  целесообразно выбирать на обратной стороне печатной платы в проекции геометрического центра теплоотводящего основания светодиода.

Порядок проведения эксперимента:

- изготовление идентичных печатных плат на исследуемых материалах;
- отбор мощных светодиодов по идентичности ВАХ;
- монтаж отобранных светодиодов с обеспечением идентичности технологии нанесения паяльной пасты и пайки;
- термостатирование образцов;
- измерение температур  $T_p$  и  $T_{pcb}$ ;
- обработка результатов с расчетами теплового сопротивления образцов.

Эксперимент проводился в два этапа:

1. Сравнительное тестирование материалов с одинаковыми параметрами (алюминий 5052 толщиной 1,5 мм, медная фольга 35 мкм, толщина диэлектрика 100 мкм).
2. Сравнительное тестирование материалов одной марки, но с разными толщинами алюминиевого основания.

В качестве исследуемых были выбраны материалы, закупаемые ООО «Резонит» как для собственного производства, так и для продажи на рынке:

- производство Totking: T-110; T-111; T-112;
- производство Huazheng New Material: HA50 Type 2; HA50 Type 3;
- производство ITEQ: IT-158; IT-859; IT-889.

Также для исследования были взяты два образца из материала производства Dupont серий LX и LA. Эти материалы по конструкции стоят несколько особняком, так как в качестве диэлектрика в них используется полиимидная пленка сравнительно малой толщины — порядка 0,02 мм против 0,1 мм в стандартных материалах. Хотя теплопроводность полиимида как такового достаточно низка, но его малая толщина теоретически должна обеспечить достаточно низкое тепловое сопротивление системы в целом.

Для второго этапа использовался материал HA50 Type 1 с толщиной фольги 35 мкм, толщиной диэлектрика 100 мкм и толщинами алюминиевого основания 0,8; 1; 1,5 и 2 мм. Марка алюминиевого сплава 5052. В качестве тестового светодиода были использованы диоды CREE XML и CREE XML2 (для второго этапа). Были изготовлены по два образца каждого вида для большей достоверности экспериментальных данных.

Оборудование:

- цифровой термометр Fluke 53 II;
- источник питания постоянного тока GPS-3030DD;
- стенд термостабилизации (рис. 2, 3).

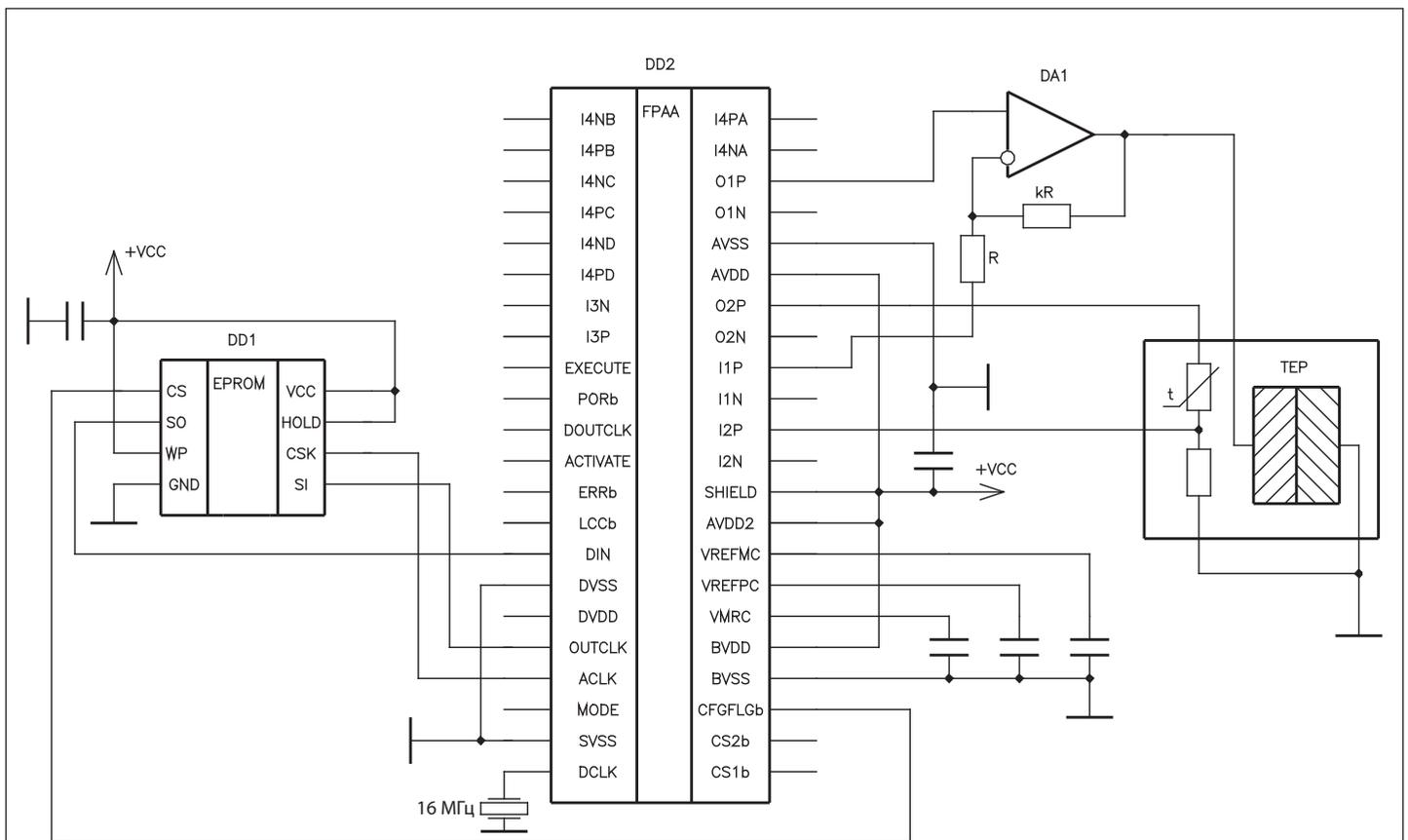


Рис. 2. Схема стенда термостабилизации с ПИД-регулятором

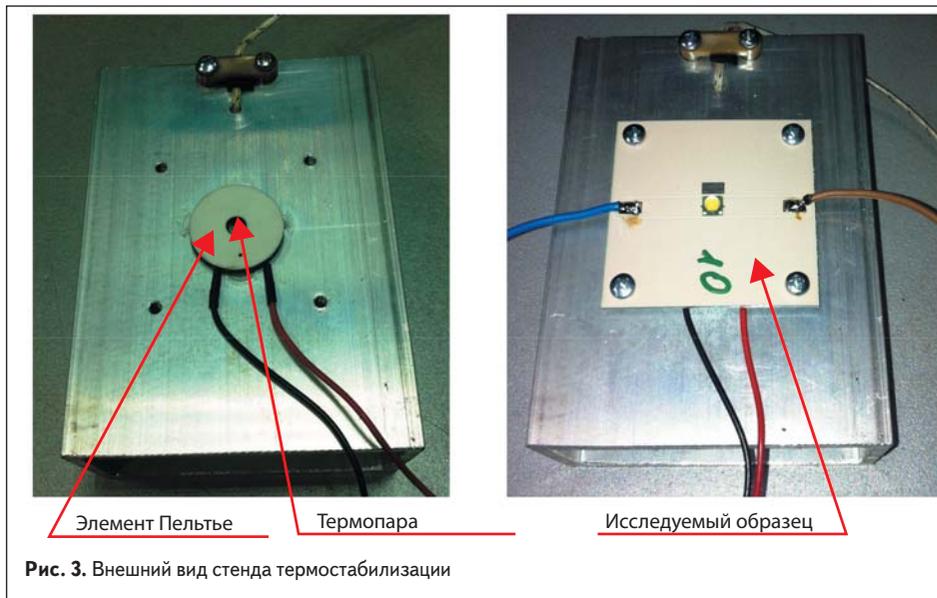


Рис. 3. Внешний вид стенда термостабилизации

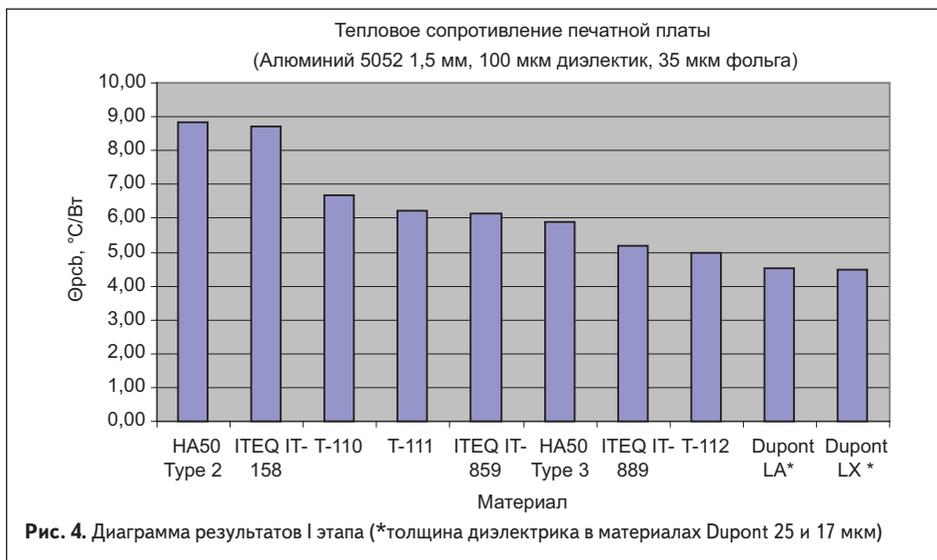


Рис. 4. Диаграмма результатов I этапа (\*толщина диэлектрика в материалах Dupont 25 и 17 мкм)

Результаты измерений приведены в таблицах 1, 2. Принятые обозначения:

- $T_{a}$ , °C — температура окружающей среды;
- $T_{pcb}$ , °C — температура обратной стороны печатной платы под светодиодом;
- $T_p$ , °C — температура светодиода в контрольной точке;
- $T_{p,av}$ , °C — средняя по двум образцам температура светодиода в контрольной точке;
- $\Theta_{p-p}$ , °C/Wt — тепловое сопротивление «обратная сторона печатной платы–корпус светодиода»;
- $\Theta_{pcb}$ , °C/Wt — расчетное тепловое сопротивление печатной платы с установленным светодиодом;
- $P_p$ , Вт — тепловая мощность (данные производителя CREE для XML и XML 2);
- $P_e = U_f I_p$ , Вт — электрическая мощность.

**I этап**

Полученные данные представлены на рис. 4.

**II этап**

Так как на данном этапе применялись светодиоды другой серии, работающие в повышенном сравнительно с первым этапом тепловом режиме, для оценки адекватности эксперимента мы решили включить в исследование также один из исследованных на первом этапе материалов — ITEQ IT-158.

Результаты эксперимента представлены на рис. 5, за исключением результатов по образцам на материале ITEQ IT-158.

**Выводы**

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать два основных вывода.

Данные производителя по теплопроводности диэлектрика следует рассматривать с достаточной долей скепсиса. Так, для материала

Таблица 1. I этап ( $T_a = 23$  °C,  $U_f = 3,08$  В,  $I_f = 1,5$  А,  $P_e = 4,62$  Вт,  $\Theta_j = 2,5$  °C/Wt)

№ образца	$T_{pcb}$ , °C	$T_p$ , °C	$P_{тп}$ , Вт	$T_{p,av}$ , °C	$\Theta$ , °C/Wt	$\Theta_{pcb}$ , °C/Wt	Марка материала																																				
1_1	28	44,2	2,3	44,25	7,03	4,53	Dupont LA 1.5 35/0																																				
1_2		44,3																																									
2_1		54,0						53,9	11,21	8,71	ITEQ IT-158 1.5 35/0																																
2_2		53,8																																									
3_1		48,3										48,2	8,74	6,24	T-111 1.5 35/0																												
3_2		48,1																																									
4_1		47,2														47,35	8,38	5,88	HA50 Type 3 1.5 35/0																								
4_2		47,5																																									
5_1		44,0																		44,1	6,97	4,47	Dupont LX 1.5 35/0																				
5_2		44,2																																									
6_1		48,1																						47,95	8,64	6,14	ITEQ IT-859 1.5 35/0																
6_2		47,8																																									
7_1		45,5																										45,8	7,71	5,21	ITEQ IT-889 1.5 35/0												
7_2		46,1																																									
8_1		45,3																														45,3	7,49	4,99	T-112 1.5 35/0								
8_2		45,3																																									
9_1		54,1																																		54,2	11,34	8,84	HA50 Type 2 1.5 35/0				
9_2		54,3																																									
10_1		49,4																																						49,25	9,20	6,70	T-110 1.5 35/0
10_2		49,1																																									

ТГ-889 заявленная теплопроводность такая же, как и для Т-111, и даже ниже, чем у НА50 Type 3. При сравнительном же тестировании выясняется, что платы из этого материала позволяют обеспечить более низкое тепловой сопротивление всей системы «*p-n*-переход– окружающая среда».

На тепловые параметры работы устройств помимо значения теплопроводности диэлектрика материала печатной платы огромное влияние оказывают и другие параметры, такие как толщина диэлектрика (что мы можем увидеть на примере материалов Duront), толщина алюминиевого основания (второй этап эксперимента), а также другие факторы, не рассмотренные в статье. Ведь в данном эксперименте был смоделирован идеальный радиатор, в реальности же все гораздо сложнее.

Практически все материалы, предлагаемые нами в серийных платах на алюминиевом основании, доступны и на срочном производстве ООО «Резонит», таким образом, можно буквально за день–два изготовить прототипы на разных материалах, собрать устройство и провести испытания именно в тех условиях, в которых устройство будет работать. После этого можно будет выбирать из удовлетворяющих по характеристикам материалов, исходя из экономических соображений. Затраты на проведение этой несложной операции ничтожны по сравнению с экономической выгодой, получаемой за счет грамотного выбора материала для печатной платы с необходимым и достаточным комплексом свойств для данного конкретного устройства. ●

**Т а б л и ц а 2.** II этап ( $T_o = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $U_f = 3,18\text{ В}$ ,  $I_f = 2\text{ А}$ ,  $P_e = 6,36\text{ Вт}$ ,  $\Theta_j = 2,5\text{ }^\circ\text{C/Вт}$ )

№ образца	$T_{pcb},\text{ }^\circ\text{C}$	$T_{pj},\text{ }^\circ\text{C}$	$P_t,\text{ Вт}$	$T_{p,avr},\text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta,\text{ }^\circ\text{C/Вт}$	$\Theta_{pcb},\text{ }^\circ\text{C/Вт}$	Марка материала
1_1	35,0	65,4	3,2	65,55	9,61	7,11	НА50 Type 1 0,8 35/0
1_2		65,7					
2_1		69,7		70	11,01	8,51	НА50 Type 1 1,0 35/0
2_2		70,3					
3_1		81,3		81,45	14,61	12,11	НА50 Type 1 2,0 35/0
3_2		81,6					
4_1		78,4		78,2	13,58	11,08	НА50 Type 1 1,5 35/0
4_2		78,0					
5_1		72,0		71,65	11,53	9,03	ITEQ IT-158 1,5 35/0
5_2		71,3					

